

京都大学大学院 学生会員 ○河野一徳
京都大学工学部 正 会 員 後藤尚男
京都大学工学部 正 会 員 杉戸真太

1. まえがき 地中埋設管の地震時挙動に関する研究は、近年盛んに行なわれており、多くの成果が蓄積されてきている。しかしながら、それらの研究の多くは直管管路を対象としており、曲管管路を対象としたものは少ない。また、曲管管路を対象としたものでも、たとえば Shinozuka・Koike¹⁾ が行なった解析のように、曲り部の角度が90°の管路を対象としたものが大部分であり、しかも、地震波の入射方向の応答量に与える影響はほとんど考慮されていない。実際の管路においては、90°の曲り管の他に45°あるいは22½°といった角度の曲り管が多く用いられていることや、図1(a)(b)に示すような曲り部が複数の曲管によって構成されている場合が多くみられることを考えれば、曲り部の角度および地震波の入射方向を考慮に入れた解析を行なうことが必要であると思われる。以上の理由から、本研究では一体構造を持つ鋼管を対象として、曲り部の角度および地震波の入射方向に任意性を与えて、すべりを考慮した応答解析を行ない、曲り部付近での応力がどのように変化するかを検討した。

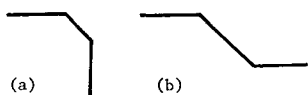


図1. 複数の曲り部を有する管路の例

2. 曲り部での諸応力の算定 本解析に用いたモデルを図2に示す。図中に角度φで示した曲り部を有する管路を曲り部で2つのエレメント（それぞれエレメント1、2と名付ける）に分け、これに正弦波で近似した地震波（縦波または横波）を地盤の変位振幅が曲り部付近で最大となるように、入射角θ（エレメント1に対して）で入力させた場合を想定する。ここで各エレメントの材端の変位を宮島²⁾による直管管路を対象とした解析手法を用いてそれぞれ独立に求め、両エレメント間に力のつりあい条件および変位の適合条件を適用する。すなわち、実際には両エレメントの材端の変位は一致しており、そのために両エレメント間に図3に示すような力が

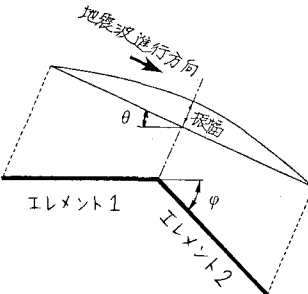


図2. 解析に用いたモデル

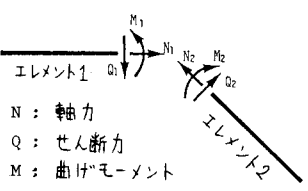


図3. 各エレメントに働く力

働くと考えらる。各エレメントがその材端に曲げモーメントM、せん断力Qを受ける場合の材端の変位は、各エレメントを半無限長さを持つ弾性支承上のはりともみなして算定し、また材端に軸力Nが作用したときの材端の管軸方向変位量ρは、Poulos³⁾が行なった杭基礎に荷重載荷した場合の応答特性に関する解析結果を用いて算定した。

$$\rho = (N / L_0 E_s) I_p$$

ここにL₀は管路長（ここではNが有効に作用すると考えられる長さ）、E_sは地盤の弾性係数であり、またI_pは変位影響係数³⁾と呼ばれる管径、管厚および弾性係数（地盤および管）により定まる量である。以上より、6つの未知量(M, N, Q)に対して、6つの式（力のつりあい条件

u=4.0cm d=0.5cm L=120m φ=60° θ=30° u=4.0cm d=0.5cm L=120m φ=90° θ=0°

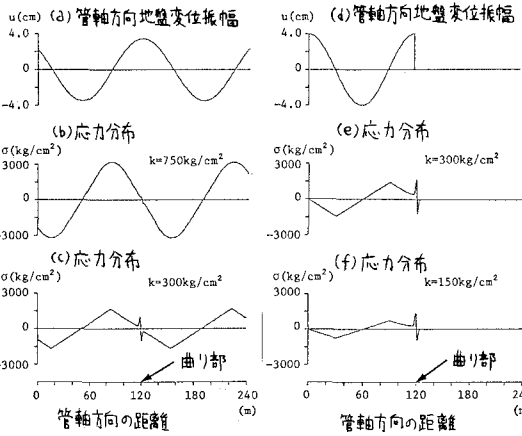


図4. 地震入力時の管軸方向応力分布

3,変位の適合条件3)が成立し,結局曲り部での諸応力を求める問題は6元連立一次方程式を解く問題に帰着する。表1に解析に用いたパラメータを示す。

3. 管と地盤の間のすべりの影響 管と地盤の間にすべりが生じた場合,直管部では軸ひずみの低減にともなう軸応力の低減が起るが,逆に曲り部ではそのしわ寄せを受けて応力の集中が起ることが知られている。図4(b)(c)(e)(f)は,曲り部を有する管

路の地震入力時の応力分布を示したものであるが,これらのうち(b)(c)図がそのことを明確に示している。すなわち,すべりが生じる場合には曲り部付近に応力のピークが存在するのに対し,すべりが生じない場合には曲り部付近の応力よりも直管部での応力が問題となる。なお本研究では,管と地盤の相対変位が0.1cmを超えたとすべりが生じるとして解析を行なった。

4. 地盤ばね定数の影響 本研究では地盤のかたさを表わす尺度として地盤ばね定数を採用した。一般に地盤がやわらかいほど管と地盤の間にすべりが生じやすくなり,それだけ曲り部付近での応力は大きくなると思われる。しかしながら,管路のほとんどの部分ですべりが生じるような場合は,地盤がやわらかい方が曲り部付近での応力は低減されるという傾向がみられる。図5(実線および点線)および図4(e)(f)はこのことを示している。

5. 曲り部の角度・地震波の入射方向の影響 曲り角 ϕ および入射角 θ の変化が曲り部付近での最大応力に与える影響を表わしたものが図6(a)(縦波)(b)(横波)である。これらの図は,縦波・横波の場合とも,曲り角が小さくなるほど曲り部付近の応力は入射角の変化の影響を敏感に受け,またその大小の変化の幅が大きくなるという傾向を示している。この原因としては,入射角の変化にともなって,各エレメントのすべりの状態が曲り角によって異なるということが考えられる。曲り角と曲り部付近での応力との関係は,他のパラメータにより複雑に変化するが,一般的に曲り角が 90° の場合よりも 60° や 45° の場合の方がむしろ応力は大きくなるようである。

6. あとがき ここでは,入力地震波を曲り部で地盤の変位振幅が最大となるように想定して解析を行ない,直管部で生じたすべりが曲り部付近での応力に及ぼす影響を調べた。本解析の手法を図1(a)(b)に示したような管路や丁字管に適用して解析を行なった結果については当日発表する予定である。なお,本解析において,直管部の応答量の計算プログラムは,京都大学亀田弘行助教授によるものを利用していただいたことを付記する。

表1. 解析に用いたパラメータ

パラメータの種類	パラメータの値
地盤の変位振幅 (u)	4, 2, 1cm
地盤ばね定数 (k)	1200, 750, 300, 150kg/cm ²
管厚 (d)	1.0, 0.5cm
管の外径 (D)	40.0cm
地震波の波長 (L)	240, 120m
曲り部の角度 (ϕ)	90, 60, 45, 22 $\frac{1}{2}$, 11 $\frac{1}{4}$ °
地震波の入射方向 (θ)	0 $\leq \theta \leq 90 + \phi/2$ °
管の弾性係数 (E)	2.10 $\times 10^6$ kg/cm ²

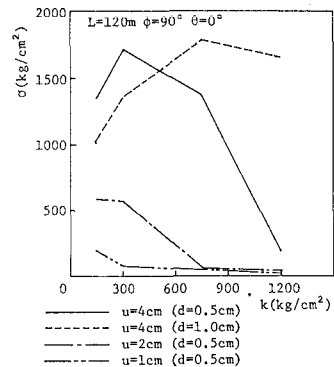
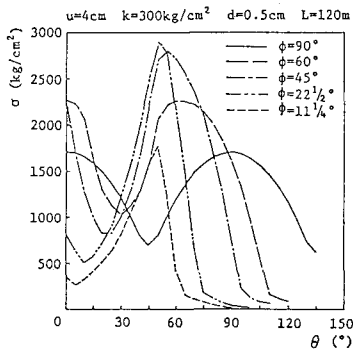
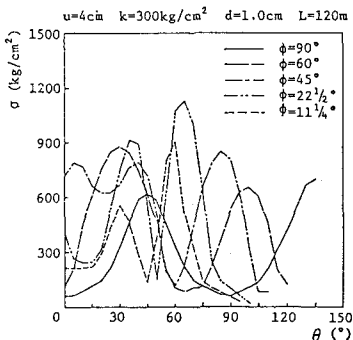


図5. 地盤ばね定数と曲り部付近での最大応力との関係



(a) 縦波の入射の場合



(b) 横波の入射の場合

図6. 地震波の入射方向・曲り部の角度と曲り部付近の最大応力との関係

参考文献 1) Shinozuka, M., and Koike, T., "Estimation of Structural Strains in Underground Lifeline Pipes", Lifeline Earthquake Engineering, Seismic Risk and Instrumentations, ASME, June, 1979.
2) 宮内二郎・宮島信雄:埋設管の地震時応力に関する研究第1報, 新日本製鉄相模原技術センター報告第86号, 昭49.6.
3) Poulos, H.G., and Davis, E.H., "Elastic Solution for Soil and Rock Mechanics", Chapter 13, Axially Loaded Piles, John Wiley & Sons, Inc., 1974.